コンパイラ理論 8 LR構文解析

補足: 属性文法とconflicts

櫻井彰人

属性文法

- Racc (Yacc系のcc)は属性文法的
  - 非終端記号は、値(semantic value)を持つ
  - パーザーは、パーザースタックをreduceするとき(使う規則を X ::= s とする)、s に付随する semantic value (Racc では配列 valueにある)を用いて、action (意味動作)を実行する。結果は終端記号 X の値となる(Raccではresultに入れた値)
  - パーザーが成功で終了すると、開始記号に付随する値を返す

属性文法

- 属性文法(ぞくせいぶんぽう、Attribute Grammar)とは、形式文法の生成に関する属性を定義する形式的手法。属性には値を関連付けられる。その言語を構文解析やコンパイラで処理する際に、属性の評価(属性から値を得ること)が抽象構文木上のノードで行われる。
- 属性は2種類に分類される。合成(sythesized)属性と継承(inherited)属性である。合成属性とは、属性評価の結果として生成されるものであり、継承属性の値を使用することもある。継承属性とは、親ノードから継承される属性である。
- いくつかの手法では、合成属性は意味情報を構文解析木の上に渡すのに使われ、継承属性は逆に下に渡すのに使われる。例えば、言語変換ツールを作成する場合、属性文法は構文要素に意味(値)を設定するのに使われる。また、文法(構文規則だけでは明示的に示されない言語の規則)に従って意味論的検証を行うことも可能である。

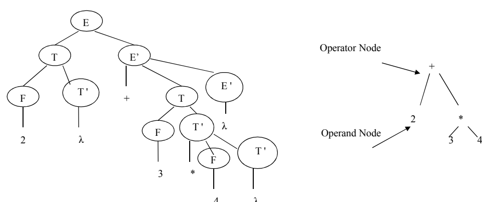
Wikipediaより

S属性文法とLR属性文法

- S属性文法
  - 継承属性を持たない属性文法。トップダウン構文解析でもボトムアップ構文解析でも使用可能。yacc は S属性文法に基づいている。
- LR属性文法
  - LR法を使った構文解析での属性文法。ボトムアップ構文解析で使用。L属性文法のサブセットであり、S属性文法のスーパーセットである。yacc は部分的に LR属性文法に基づいている。
  - In yacc, a common hack is to use global variables to simulate some kind of inherited attributes and thus LR-attribution.

Wikipediaより

構文木と抽象構文木



Operator Node

Operand Node

```
# $Id: calc.y,v 1.4 2005/11/20 13:29:32 aamine Exp $
#
# Very simple calculater.

class Calcp
  prechigh
    nonassoc UMINUS
    left    '*' '/'
    left    '+' '-'
  preclow
rule
  target: exp
        | /* none */ { result = 0 }

  exp: exp '+' exp { result += val[2] }
     | exp '-' exp { result -= val[2] }
     | exp '*' exp { result *= val[2] }
     | exp '/' exp { result /= val[2] }
     | '(' exp ')'  { result = val[1] }
     | '-' NUMBER  =UMINUS { result = -val[1] }
     | NUMBER
end
```

同位はエラー

演算子順位の定義

同位は左結合

開始記号(非終端記号)

この規則適用後に返す値

右辺2番目(0番目が先頭)に帰って来た値

このマイナスは UMINUSと同じ強さ

再びですが

```
rule
  target: exp
     | /* none */ { result = 0 }

  exp: exp '+' exp { result += val[2] }
     |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
     |  exp '*' exp { result *= val[2] }
     |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
     |  '(' exp ')'   { result = val[1] }
     |  '-' NUMBER  =UMINUS { result = -val[1] }
     |  NUMBER
end
```

曖昧な文法

NUM + NUM * NUM ⇨ (two parse trees: E → E + E (E → NUM, E → E * E (NUM, NUM)); E → E * E (E → E + E (NUM, NUM), NUM))

再び

```
rule
  target: exp
     | /* none */ { result = 0 }

  exp: exp '+' exp { result += val[2] }
     |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
     |  exp '*' exp { result *= val[2] }
     |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
     |  '(' exp ')'   { result = val[1] }
     |  '-' NUMBER  =UMINUS { result = -val[1] }
     |  NUMBER
end
```

曖昧ではあるが、分かりやすいし、複数の構文木が得られたとき、どちらが正しいかは(我々には)すぐ分かる。

NUM + NUM * NUM ⇨ (two parse trees: E → E + E (E → NUM, E → E * E (NUM, NUM)); E → E * E (E → E + E (NUM, NUM), NUM))

試してみよう

```
class Calcf
rule
  target: exp
     | /* none */ { result = 0 }

  exp: exp '+' exp { result += val[2] }
     |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
     |  exp '*' exp { result *= val[2] }
     |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
     |  '(' exp ')'   { result = val[1] }
     |  '-' NUMBER   { result = -val[1] }
     |  NUMBER
end
```

```
$ racc -o calcf.rb calcf.y
16 shift/reduce conflicts
```

```
$ ruby calcf.rb

type "Q" to quit.

? 1+2
= 3

? 1+2*3
= 7

? 1*2+3
= 5

?
```

LR パーザーの動き

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   |  exp '*' exp { result *= val[2] }
   |  '(' exp ')'   { result = val[1] }
   |  NUMBER
```

こちらが欲しい:

(E → E + E; E → NUM; E → E * E (NUM, NUM))

これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

現在の状態: E + E

これまでにパースした要素

shift-reduce conflict あり！
正しく構文解析するにはどうしたらよいか？

LR パーザーの動き

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   |  exp '*' exp { result *= val[2] }
   |  '(' exp ')'   { result = val[1] }
   |  NUMBER
```

こちらが欲しい:

(E → E + E; E → NUM; E → E * E (NUM, NUM))

これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

現在の状態: E + E *

これまでにパースした要素

shift-reduce conflict あり！
正しく構文解析するにはどうしたらよいか？
SHIFT

LR パーザーの動き

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   |  exp '*' exp { result *= val[2] }
   |  '(' exp ')'   { result = val[1] }
   |  NUMBER
```

こちらが欲しい:

(E → E + E; E → NUM; E → E * E (NUM, NUM))

これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

現在の状態: E + E * NUM

これまでにパースした要素

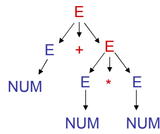
SHIFT SHIFT

LR パーザーの動き

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```

こちらが欲しい:



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

現在の状態: E + E * E

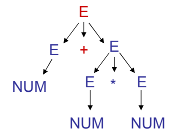
REDUCE

LR パーザーの動き

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```

こちらが欲しい:



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

現在の状態: E + E

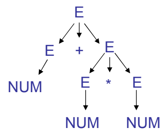
REDUCE

LR パーザーの動き

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```

こちらが欲しい:



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

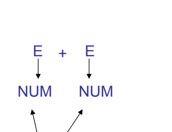
現在の状態: E

REDUCE

別の構文解析

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

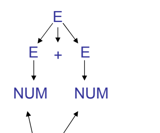
現在の状態: E + E

shift-reduce conflict あり！
先に REDUCE したらどうなるか

別の構文解析

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

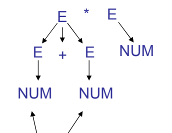
現在の状態: E

REDUCE

別の構文解析

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

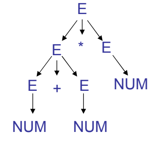
現在の状態: E * E

今度は: SHIFT SHIFT REDUCE

別の構文解析

一部だけ取り出す

exp: exp '+' exp { result += val[2] }
| exp '*' exp { result *= val[2] }
| '(' exp ')' { result = val[1] }
| NUMBER



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

これまでにパースした要素

現在の状態: E

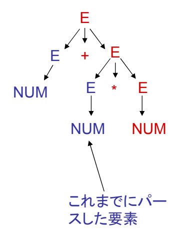
REDUCE

ここまでのまとめ

一部だけ取り出す

exp: exp '+' exp { result += val[2] }
| exp '*' exp { result *= val[2] }
| '(' exp ')' { result = val[1] }
| NUMBER

こちらが欲しい:



これから読む

入力: NUM + NUM * NUM

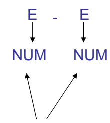
現在の状態: E + E

shift-reduce conflict あり！
スタック上に E + E あり, そして *.
Shift したい. こんなとき いつでも shift したい
というのも * の 優先度 precedence は + より上.

第二例

一部だけ取り出す

exp: exp '+' exp { result += val[2] }
| exp '-' exp { result -= val[2] }
| exp '*' exp { result *= val[2] }
| '(' exp ')' { result = val[1] }
| NUMBER



これから読む

入力: NUM - NUM - NUM

これまでにパースした要素

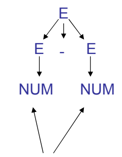
現在の状態: E - E

shift-reduce conflict あり！
スタック上に E - E あり, 次にあるのは -.
何をすべきか？

第二例

一部だけ取り出す

exp: exp '+' exp { result += val[2] }
| exp '-' exp { result -= val[2] }
| exp '*' exp { result *= val[2] }
| '(' exp ')' { result = val[1] }
| NUMBER



これから読む

入力: NUM - NUM - NUM

これまでにパースした要素

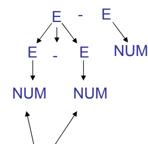
現在の状態: E

shift-reduce conflict あり！
スタック上に E - E あり, 次にあるのは -.
何をすべきか？
REDUCE

第二例

一部だけ取り出す

exp: exp '+' exp { result += val[2] }
| exp '-' exp { result -= val[2] }
| exp '*' exp { result *= val[2] }
| '(' exp ')' { result = val[1] }
| NUMBER



これから読む

入力: NUM - NUM - NUM

これまでにパースした要素

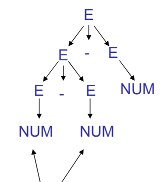
現在の状態: E - E

SHIFT SHIFT REDUCE

第二例

一部だけ取り出す

exp: exp '+' exp { result += val[2] }
| exp '-' exp { result -= val[2] }
| exp '*' exp { result *= val[2] }
| '(' exp ')' { result = val[1] }
| NUMBER



これから読む

入力: NUM - NUM - NUM

これまでにパースした要素

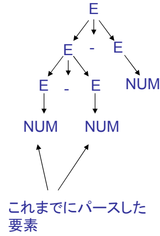
現在の状態: E

REDUCE

第2例: まとめ

一部だけ取り出す

```
exp: exp '+' exp { result += val[2] }
   | exp '-' exp { result -= val[2] }
   | exp '*' exp { result *= val[2] }
   | '(' exp ')'   { result = val[1] }
   | NUMBER
```



これから読む

入力: NUM - NUM - NUM

現在の状態: E

これまでにパースした要素

shift-reduce conflict あり！.
スタック上に E - E あり, 次にあるのは -.
何をすべきか？ いつでも
reduce をしたい. というのも – は left-associative.

優先度と結合性

- 優先度と結合性を扱う3つの方法がある:
  1) Racc に文句を言わせたままにする.
     - Raccは（Yaccは）、shift-reduce conflict があると shift する
     - ただし、そうすると、プログラマの意図が分かりにくくなる; 他の部分をデバッグするのに支障がでるかも; 一般的にはエレガントではない
  2) あいまい性がない文法に書き換える
     - 複雑かつ分かりにくくなるおそれあり
  3) Racc (Yacc) の優先度指定を用いる
     - もっとも普通。left, right, nonassoc

優先度と結合性

- 優先度が指示されると, Racc は終端記号と規則に優先度を割り当てる
  - 終端記号の優先度は、左右結合が書かれている順番（またはその逆。指示に従う）
  - 書換規則の優先度は、最右端終端記号の優先度である
    - 例: 規則 E ::= E + E の優先度 == prec('+')
- shift-reduce conflict の解消方法:
  - prec(terminal) > prec(rule) ==> shift
  - prec(terminal) < prec(rule) ==> reduce
  - prec(terminal) = prec(rule) ==>
    - assoc(terminal) = left ==> reduce
    - assoc(terminal) = right ==> shift
    - assoc(terminal) = nonassoc ==> エラー

これから読む

入力: 終端記号 T が次:....................T E

スタック上の、規則の右辺:........E % E

優先度と結合性

```
prechigh
  nonassoc UMINUS
  left    '*' '/'
  left    '+' '-'
 preclow
rule
 target: exp
      | /* none */ { result = 0 }

 exp: exp '+' exp { result += val[2] }
    | exp '-' exp  { result -= val[2] }
    | exp '*' exp { result *= val[2] }
    | exp '/' exp  { result /= val[2] }
    | '(' exp ')'    { result = val[1] }
    | '-' NUMBER  =UMINUS { result = -val[1] }
    | NUMBER
end
```

優先度と結合性

```
prechigh
  nonassoc UMINUS
  left    '*' '/'
  left    '+' '-'
 preclow
```

これから読む

入力: 終端記号 T が次:.................... '*' E

prec('*') > prec('+')

スタック上の、規則の右辺: ...E '+' E

優先度と結合性

```
prechigh
  nonassoc UMINUS
  left    '*' '/'
  left    '+' '-'
 preclow
```

これから読む

入力: 終端記号 T が次:.................... '*' E

prec('*') > prec('+')

スタック上の、規則の右辺: ...E '+' E

SHIFT

優先度と結合性

```
precigh
  nonassoc UMINUS
  left      '*' '/'
  left      '+' '-'
 preclow
```

これから読む

入力: 終端記号 T が次:.................... '-' E

prec('+') = prec('-')

スタック上の、規則の右辺: ...E '+' E

優先度と結合性

```
prechigh
  nonassoc UMINUS
  left      '*' '/'
  left      '+' '-'
 preclow
```

これから読む

入力: 終端記号 T が次:.................... '-' E

prec('+') = prec('-')

スタック上の、規則の右辺: ...E '+' E

REDUCE

もう一例

```
prechigh

  left      '*' '/'
  left      '+' '-'
 preclow
rule
 target: exp
      | /* none */ { result = 0 }

 exp: exp '+' exp { result += val[2] }
    |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
    |  exp '*' exp { result *= val[2] }
    |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
    |  '(' exp ')'    { result = val[1] }
    |  '-' NUMBER  { result = -val[1] }
    |  NUMBER
```

これから読む

....................'*' E

...'-' E

どうなるか？

もう一例

```
prechigh

  left      '*' '/'
  left      '+' '-'
 preclow
rule
 target: exp
      | /* none */ { result = 0 }

 exp: exp '+' exp { result += val[2] }
    |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
    |  exp '*' exp { result *= val[2] }
    |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
    |  '(' exp ')'    { result = val[1] }
    |  '-' NUMBER  { result = -val[1] }
    |  NUMBER
```

これから読む

....................'*' E

...'-' E

どうなるか？

prec('*') > prec('-') ==> SHIFT

修正

```
prechigh
  nonassoc UMINUS
  left      '*' '/'
  left      '+' '-'
 preclow
rule
 target: exp
      | /* none */ { result = 0 }

 exp: exp '+' exp { result += val[2] }
    |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
    |  exp '*' exp { result *= val[2] }
    |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
    |  '(' exp ')'    { result = val[1] }
    |  '-' NUMBER =UMINUS { result = -val[1] }
    |  NUMBER
```

これから読む

....................'*' E

...'-' E

どうなるか？

修正

```
prechigh
  nonassoc UMINUS
  left      '*' '/'
  left      '+' '-'
 preclow
rule
 target: exp
      | /* none */ { result = 0 }

 exp: exp '+' exp { result += val[2] }
    |  exp '-' exp  { result -= val[2] }
    |  exp '*' exp { result *= val[2] }
    |  exp '/' exp  { result /= val[2] }
    |  '(' exp ')'    { result = val[1] }
    |  '-' NUMBER =UMINUS { result = -val[1] }
    |  NUMBER
```

これから読む

....................'*' E

...'-' E

どうなるか？

prec('-') > prec('*') ==> REDUCE

宙ぶらりん else (dangling else)

- 文法:
  S ::= if E then S else S
  S ::= if E then S
  S ::= ...
- 例題: if a then if b then S else S
  - 解析 1: if a then (if b then S else S)
  - 解析 2: if a then (if b then S) else S
- Raccは shift-reduce conflict を報告
  - デフォールト: shift (望みのもの)

宙ぶらりん else (dangling else)

- 文法:
  S ::= if E then S else S
  S ::= if E then S
  S ::= ...
- 別解: 文法の書き換え:
  S ::= M
  S ::= U
  M ::= if E then M else M
  M ::= ...
  U ::= if E then S
  U ::= if E then M else U

Racc のデフォールト動作

- Shift-Reduce conflict
  - shift
- Reduce-Reduce conflict
  - 最初の規則で reduce
  - 一般的には、本当のバグ！